

불규칙 곡면에 대한 멀티 터치 인터랙션 시스템 개발

강맹관*, 서인교*, 이상완*, 이동훈**, 윤태수**,

*동서대학교 일반대학원 영상콘텐츠학과

**동서대학교 디지털콘텐츠학부

e-mail: {dongle3927, seinkyoo, guffkddl}@gmail.com, {dhl, tsyun}@dongseo.ac.kr

The Development Of Multi-Touch Interactive System About An Irregular Curved Surface

Maeng-Kwan Kang*, Jung-Hoon Kim*, In-Kyo Seo*, Sang-Wan Lee*,
Sung-Hyun Jo**, Gyu-Hyeok Choi**, Dong-Hoon Lee**, Tae-Soo Yoon**

*Graduate School Dongseo University Dept. of Visual Contents

**Dongseo University Digital Contents

요 약

최근 각광 받고 있는 멀티 터치 인터랙션 시스템에서 기존의 디스플레이 방식인 벽면 디스플레이 방식의 네모난 형태의 디스플레이 방식이 아닌 볼록형(Convex) 불규칙 디스플레이 방식으로 산 모양의 디오라마 형태의 디스플레이에서 멀티 터치 인터랙션이 가능한 시스템을 제안한다. 먼저 볼록형 불규칙 표면의 산 디오라마를 제작을 하고 후면 투영 방식으로 프로젝터 영상을 산 디오라마 표면을 대상으로 디스플레이 하고 영상 분석 모듈을 통하여 터치 인터랙션 좌표 정보를 분석한다. 분석된 터치 인터랙션 좌표는 3D 좌표로 변환하고 디스플레이 모듈에 보내면 디스플레이 모듈에서는 인터랙션 메타포로 분석하고 결과를 콘텐츠에 실행시킴으로써 볼록형 불규칙 표면의 산 디오라마에서 멀티 터치 인터랙션에 따른 결과를 사용자가 체감 할 수 있도록 하였다. 본 시스템은 향후 다양한 디오라마 형태로 제작하여 목적에 맞는 전시 시스템으로의 디바이스나 체감형 아케이드 게임 디바이스로 활용이 가능할 것이다.

1. 서론

최근 터치 인터랙션 기술은 개인 휴대 기기인 휴대폰에서 부터 다수 참여자가 동시에 접근 할 수 있는 대형 전시 시스템에 이르기 까지 많은 분야에서 폭 넓게 사용이 되고 있다.[1] 뿐만 아니라 단일 터치뿐만 아니라 멀티 터치 인터랙션이 가능한 멀티 터치 시스템 사용의 연구가 활발히 진행 되고 있다. 이런 터치 인터랙션 디스플레이 기술은 화면을 통하여 시각화 되는 정보를 다양한 메타포를 통하여 미디어와 사용자간의 직관적으로 상호 작용 할 수 있는 장점이 있다.[2]

앞서 기재한 바와 같이 멀티 터치 인터랙션 기술 개발이 활발히 진행되고 상용화 되고 있는 가운데 소프트웨어와 하드웨어의 기술발전으로 인하여 기존의 디스플레이 형태의 터치 시스템이 아닌 다양한 형태의 디스플레이 방식의 멀티 터치 시스템 개발이 가능하게 되었다, 그 예로써 Microsoft사의 Sphere를 들 수가 있다.[3]

Microsoft사의 Sphere(그림 1 참조)는 기존의 디스플레이와 다른 형태인 구 형태의 디스플레이 상에서 멀티 터치 인터랙션이 가능하게 됨으로 시스템과 사용자가 디스플레이 상에서 상호 작용이 가능하게 되었다.



(그림 1) Microsoft사의 Sphere

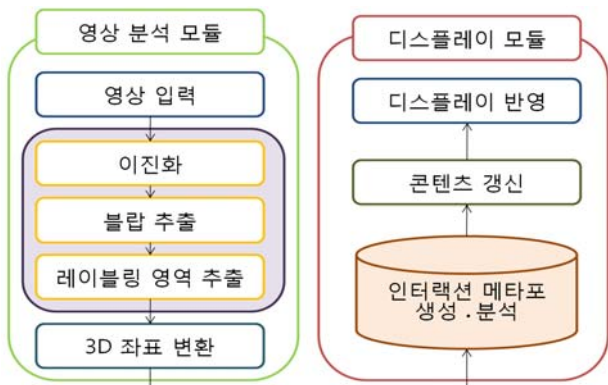
본 논문에서는 원형 디스플레이를 확장하여 볼록형(Convex) 불규칙 디스플레이로 산 모형의 디스플레이에 공간 증강 현실(Spatial Augmented Reality)[4]의 기술 증강 현실 공간에 가상의 정보를 직접 투사함으로써 증강 현실을 표현하는 방식을 이용하여 영상이 산 모형의 디스플레이에 투사 되도록 한다. 디스플레이 된 콘텐츠와 사용자간의 상호작용이 가능한 멀티 터치 인터랙션 시스템을 제안한다. silver screen과 와이어를 이용하여 산 모형의 디오라마 디스플레이를 제작하고 제작한 디오라마에서 멀티 터치 인터랙션이 가능하도록 DI 방식으로 IR-Ring의 적외선 빛을 투사하여 인터랙션 영역을 구성하도록 한다. 이

때 발생하는 불규칙 표면에 대한 영상 보정을 위한 프로젝터 기하 보정(Projector Calibration)과 3차원 공간 상의 표면에 대한 멀티 터치에 접촉면 좌표 계산을 위해 카메라 보정(Camera Calibration) 기법을 활용하도록 한다. band pass filter를 장착한 적외선 카메라를 통하여 인터랙션 영역에서 이루어지는 모든 영상을 실시간으로 획득하도록 하며 영상 분석 모듈을 통하여 인터랙션 좌표를 추출하고 3D 좌표 변환 과정을 거쳐 디스플레이 모듈로 보내어 콘텐츠에서 실행 가능하도록 함으로써 산 디오라마에서 멀티 터치 인터랙션을 통한 콘텐츠 실행이 가능하도록 한다.

2. 시스템 구성

2.1 전체 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 시스템 흐름도는 다음과 같다. (그림 2 참조)

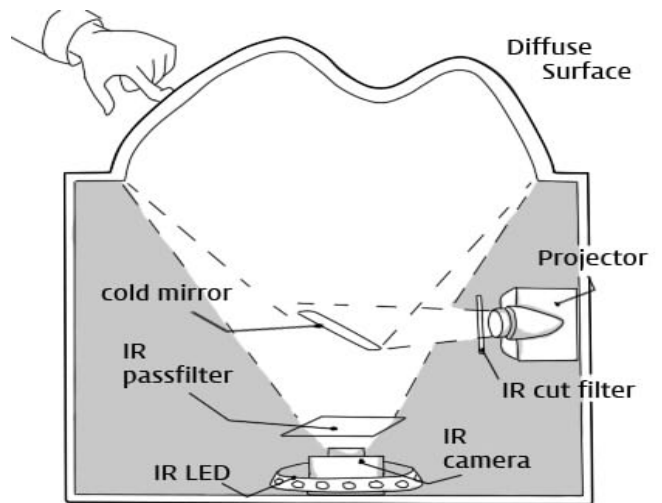


(그림 2) 시스템 흐름도.

시스템은 크게 영상 분석 모듈과 디스플레이 모듈로 나뉜다. 먼저 전처리 과정으로 디스플레이 표면의 기하정보를 추출을 실시한다. 시스템 구조상 카메라의 위치와 프로젝터의 위치가 다르기 때문에 프로젝터와 구조물간의 관계를 표현하는 프로젝터 보정과 사용자의 인터랙션 좌표를 3차원 좌표로 복원할 목적의 카메라 보정을 한다. 보정 후 band pass filter를 장착한 적외선 카메라를 통하여 실시간 영상을 획득을 한다. 획득 되어 지는 영상은 영상 처리 기술인 이진화(Threshold) 과정을 거쳐 잡음을 제거한다. 잡음 제거 후 블랍 레이블링(Blob-Labeling) 과정을 통해 사용자의 인터랙션 영역을 추출한다.[5] 추출 된 인터랙션 영역으로부터 위치 정보를 추출하고 3D 좌표로 변환하여 디스플레이 모듈에 보낸다. 디스플레이 모듈에서는 인터랙션에 관한 메타포를 생성하고 분석하여 콘텐츠 상에서 실행이 되도록 하며 결과값을 실시간으로 디스플레이에 반영함으로써 사용자의 터치 인터랙션에 따른 결과를 실시간으로 디스플레이 상에서 볼 수 있도록 한다.

2.2 불규칙 표면 모형 터치 인터랙션 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 시스템 구성을 다음과 같다. (그림 3 참조)



(그림 3) 시스템 구성.

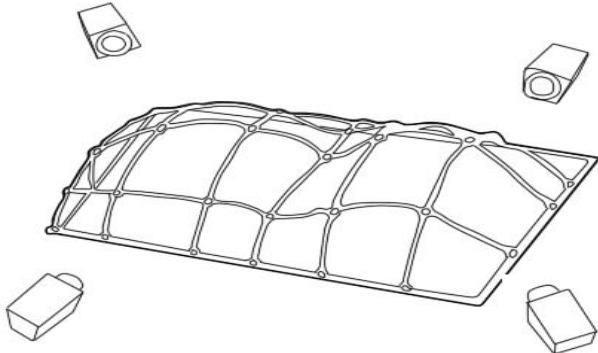
전체 시스템 외부는 30 X 30 알루미늄 프로파일을 이용하여 시스템 틀을 제작하고 시스템 상단 중앙에 가로 87cm, 세로 57cm에 최대 높이가 18.2cm인 불규칙 표면 구성을 위한 산 모양의 디오라마를 위치시킨다. 이 때 산 외부는 Silver Screen의로 제작하여 시스템 내부에서 투사되는 프로젝터의 영상이 디오라마 전체에 맺히는 것이 가능하도록 하여 사용자가 보기에 프로젝터 영상이 산 디오라마에 입혀진 모양의 디스플레이가 될 수 있도록 한다. 시스템 내부 좌측 상단 위치에 IR-CUT filter를 장착한 프로젝터를 위치를 시키고 우측 하단에 Cold Mirror를 향하여 4:3 비율로 영상을 투사한다. 우측 하단의 Cold Mirror는 프로젝터 영상을 시스템 상단 산 디스플레이를 향하여 반사를 시켜 산 디스플레이에 영상이 맺히도록 한다. 시스템 하단 중앙에는 적외선 IR-Ring을 위치시키고 산 디스플레이 내부 전면부를 향하여 적외선 빛을 고르게 투사 시키도록 하며 산 디오라마에 사용자가 터치 인터랙션을 실행 시 인터랙션이 일어나는 부분에 적외선 난반사가 일어나도록 한다. 인터랙션 영역 안에서 이루어지는 모든 영상은 band pass filter를 장착한 적외선 카메라를 통하여 실시간으로 획득 할 수 있도록 한다.

3. 시스템 내부 알고리즘

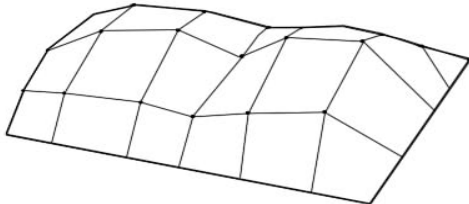
3.1 디스플레이 표면 기하정보 추출

본 논문에서 제안하는 시스템의 가동전의 전처리 단계로 구조물에 대한 정확한 3차원 기하정보 추출의 단계를 실행한다. 3차원 기하정보 추출을 위하여 광학식 모션 캡처 장치를 활용하여 구조물을 구성하는 주요 정점(vertex)의 3차원 기하정보를 추출하는 방식을 사용 하였다. 정점과 정점 간의 거리를 메쉬로 나타내면 간략하게 구조물을

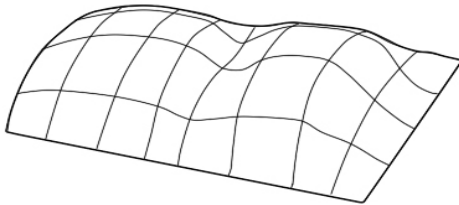
근사화가 가능하다. 그러나 이렇게 구성된 모델은 폴리곤과 폴리곤 상의 구성이 직선으로 나타내어지기 때문에 부드럽지 못한 구성을 초래한다. 이런 문제점을 본 논문에서는 추출한 정점의 3차원 기하 정보를 활용하여 추출된 근사화 모델을 수작업(3D 그래픽 소프트웨어를 활용)을 통해 최종적으로 보완한다(그림 4참조).



(a) 모션캡처를 활용한 주요정점 정보 추출.



(b) 근사화 과정



(c) 최종 모델

(그림 4) 디스플레이 표면 3차원 기하정보 추출 단계.

3.2 프로젝터 및 카메라 보정

본 논문에서 제안하는 시스템 구조상 프로젝터와 카메라라는 동일한 위치 구조가 아닌 서로 다른 위치로 구성되어 있다. 그로 인하여 투영될 영상의 위치 및 방향 정보 추출을 위해 프로젝터와 구조물 간의 관계를 표현하는 프로젝터 보정이 필요하며 사용자의 접촉에 의해 형성된 접촉점의 위치를 3차원 좌표로 복원할 목적으로 카메라 보정이 필요하다. 본 논문에서는 이런 보정 방법으로 프로젝터와 카메라의 보정은 3차원 좌표와 프로젝터 및 카메라에 비친 2차원 좌표 간의 대응관계를 통해 카메라의 내부와 외부 파라미터를 추출하는 컴퓨터 비전 알고리즘을 이용하도록 한다. 일반적으로 알려진 3차원 좌표는 보정물체(Calibration object)를 활용을 하는데, 본 논문에서는 앞절에서 기술한 바와 같이 모션 캡처 과정을 통해 추출한 구조물을 이용하여 보정을 수행하였다. 3차원 좌표와 대응

하는 2차원 좌표 간의 카메라 보정 방법은 다음과 같다.

3차원 공간상의 한 점인 (X_i^w, Y_i^w, Z_i^w) 이 2차원 영상에 투영된 경우 (x, y) , 두 좌표계 간의 관계는 3×4 투영 행렬인 M 에 의해 표현된다.(수식 1 참조)

$$\begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} X_i^w \\ Y_i^w \\ Z_i^w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (\text{식 1})$$

이 때 2차원 좌표 x, y 는 수식 2과 같다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{u_i}{w_i} = \frac{m_{11}X_i^w + m_{12}Y_i^w + m_{13}Z_i^w + m_{14}}{m_{31}X_i^w + m_{32}Y_i^w + m_{33}Z_i^w + m_{34}} \\ y &= \frac{v_i}{w_i} = \frac{m_{21}X_i^w + m_{22}Y_i^w + m_{23}Z_i^w + m_{24}}{m_{31}X_i^w + m_{32}Y_i^w + m_{33}Z_i^w + m_{34}} \end{aligned} \quad (\text{식 2})$$

행렬 M 은 11개의 자유도를 지니고 있으므로 6개의 3차원과 2차원 좌표 간의 대응 관계만 알면 동차 선형 시스템을 통해 결정될 수 있다. 일반적으로 좌표 측정에서 발생하는 오차 등의 이유로 보다 많은 대응관계를 측정값으로 사용하여 최소자승법(least square method)을 통해 정확한 투영관계를 산출한다. N 개의 3차원과 2차원 좌표의 대응관계를 알고 있다고 가정할 경우 동차선형 시스템은 수식 3과 같이 구성된다.

$$Am = 0. \quad (\text{식 3})$$

이 때 A (수식 4)와 m (수식 5)은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} X_1 & X_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1X_1 & -x_1Y_1 & -x_1Z_1 & -x_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & -y_1X_1 & -y_1Y_1 & -y_1Z_1 & -y_1 \\ X_2 & X_2 & Z_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2X_2 & -x_2Y_2 & -x_2Z_2 & -x_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_2 & Y_2 & Z_2 & -y_2X_2 & -y_2Y_2 & -y_2Z_2 & -y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_N & X_N & Z_N & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_NX_N & -x_NY_N & -x_NZ_N & -x_N \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_N & Y_N & Z_N & -y_NX_N & -y_NY_N & -y_NZ_N & -y_N \end{pmatrix} \quad (\text{식 4})$$

$$m = [m_{11}, m_{12}, \dots, m_{33}, m_{34}]^T. \quad (\text{식 5})$$

이 때 A 는 11개의 자유도를 가지므로 특이값분해(SVD, Singular Value Decomposition)를 활용하여 m 을 구할 수 있다.

산출된 정보는 3차원 좌표와 2차원 좌표 간의 투영 행렬로서 투영행렬로부터 카메라의 내부 파라미터와 외부 파라미터 추출 기법[6]을 활용하여 카메라 보정에 필요한 파라미터를 산출한다.

4. 구현 및 실험 결과

본 논문에서 멀티 터치 인터랙션이 가능한 산 디오라마 형식 터치 인식 시스템을 제작하였다. 30 X 30 알루미늄 프로파일을 이용하여 시스템 외부를 제작하고 시스템 상단 중앙에 가로 87cm에 57cm, 최대 높이 18.2cm 크기의 Silver Screen으로 제작한 불규칙 표면 구조물인 산 모양 디오라마를 위치시켰다. (그림 5-a참조) 시스템 내부 좌측 상단 위치에 IR-CUT filter를 장착한 프로젝터를 위치를 시키고 우측 하단에 Cold Mirror을 향하여 영상을 투사하도록 하였다. 이 때 영상을 산 디오라마에 입히기 위하여 전처리 단계인 디스플레이 표면 기하정보 추출 과정을 실행한다. 전처리 단계를 통해 산 디오라마의 3차원 기하정보를 추출하고 프로젝터 및 카메라 보정을 통하여 3차원 기하정보에 맞게 프로젝터 영상이 투사 되도록 하며 (그림 5-b참조) 콘텐츠에서 사용 가능한 좌표로 변환 되도록 하였다. Cold Mirror는 프로젝터 영상을 시스템 상단 산 디오라마를 향하여 반사를 시켜 산 디오라마에 영상이 맺히도록 하고 제작한 적외선 IR-Ring을 시스템 하단 바닥에 위치시켜 산 모양의 디스플레이 전면부에 적외선 빛을 고르게 투사 시키며 산 디오라마에 사용자 터치 인터랙션이 일어나도록 하였다(그림 5-c참조). band pass filter를 장착한 적외선 카메라를 이용하여 실시간으로 적외선 난반사가 일어나는 영상을 획득하게 하였다. 획득한 영상은 제안하는 영상 분석 모듈을 통하여 분석하여 터치 인터랙션 좌표 정보를 획득하도록 하였다. 획득되어지는 터치 인터랙션 좌표 정보는 3D 좌표로 변환하고 변환한 좌표를 디스플레이 모듈로 보내어 지정한 메타포에 따른 결과를 콘텐츠에서 실행시킴으로 사용자가 산 디오라마에 최하는 터치 인터랙션의 결과를 볼 수 있도록 하였다.(그림 5-d 참조)



(5-a) 제작한 산 디오라마 (5-b) 프로젝터 보정



(5-c) 멀티 터치 인터랙션 (5-d) 콘텐츠 실행 모습

(그림 5) 제작한 시스템 구현 모습

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서 제안하는 시스템을 통하여 기존의 네모난 디스플레이에서의 터치 인터랙션이 아닌 불규칙 표면에서 멀티 터치 인터랙션이 가능한 산 디오라마 기반 터치 인식 시스템을 제작하였다. 제안하는 산 모양의 디오라마 시스템을 제작하고 전처리 단계로 디스플레이 표면 기하정보를 추출한다. 추출되어진 디스플레이 기하정보에 맞게 프로젝터와 카메라 보정을 통해 영상이 산 디오라마에 맺히도록 하였다. IR-Ring을 통하여 산 디오라마 내부 전면부에 적외선 빛이 투사되도록 하여 인터랙션 영역을 구축하고 적외선 카메라를 통하여 산 디오라마 인터랙션 영역에서 일어나는 인터랙션 영상을 획득하도록 하였다. 영상 분석 모듈을 통하여 실시간으로 영상을 분석하고 터치 인터랙션 좌표 정보를 획득하게 하였으며 획득 되어진 좌표는 3D 좌표로 변환하여 디스플레이 모듈로 보내게 하였다. 디스플레이 모듈에서는 인터랙션 메타포에 맞추어 분석하여 결과를 실시간 콘텐츠에 적용함으로써 터치 인터랙션에 따른 결과를 사용자가 볼 수 있도록 하였다. 또한 멀티 터치 인터랙션을 통하여 보다 다양한 인터랙션이 가능하도록 하였다.

본 시스템은 향후 산 디오라마를 아크릴 재질로 제작하여 영상 투사 시 시스템 뼈대가 나타나는 단점을 보완을 할 것이다. 뿐만 아니라 다양한 메타포를 추가함으로써 많은 사용자가 동시에 다양한 인터랙션이 사용 가능한 시스템으로 개발 할 것이다. 또한 보다 다양한 분야에서 다양한 방식으로 디오라마 전시 시스템으로 활용이 가능할 것이고 체감형 아케이드 게임에서 인식 디바이스로써 활용이 가능할 것이다.

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역 혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

- [1] 최승억, 정종우, 서영완, “테이블 탑 기기와 인터랙티브 벽면 디스플레이의 기술동향과 응용”, 한국 HCI 2008 학회, Workshop on Tabletop and Interactive Display, 강원도, 2008년 2월
- [2] 김혜린, 장혜정, 박승호, “체감형 게임 중심의 텐저블 인터페이스 디자인 연구”, 한국 HCI 2004 학회, 2004년 2월
- [3] Hrvoje Benko, Andrew D. Wilson, Ravin Balakrishnam, “Sphere: Multi-Touch interactions on a Spherical Display”, UIST’08, California, USA, 2008
- [4] Bimber, Oliver, Raskar, Ramesh, Spatial Augmented Reality, AKPetersLtd, 2007
- [5] Jeff. Han, “Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection”, In ACM USIT ’05, pp.115-118, 2005
- [6] E. Trucco, A. Verri, Introductory Techniques for 3-D Computer Vision, Prentice Hall, 1998.